



СИГНАЛЬНЫЕ ДОРОЖНЫЕ СТОЛБИКИ Delnorth
СТИЛФЛЕКС
ОЦЕНКА ТРАВМООПАСНОСТИ:
Сравнение с сигнальными дорожными столбиками из
твердых пород древесины

Подготовлено для Delnorth International
Roadside Products Pty Ltd

14 февраля 2006 г.

КРАТКИЙ ОБЗОР

Сигнальные дорожные столбики используются для обозначения края проезжей части как на крупных магистралях, так и не менее значимых дорогах. Сигнальные дорожные столбики повышают безопасность движения, предупреждая водителей об опасных поворотах и помогая выбрать оптимальную траекторию движения.

Жесткие объекты, расположенные на краю проезжей части или на обочине, могут представлять серьезную опасность для незащищенных участников дорожного движения, в частности – для велосипедистов и мотоциклистов, поскольку такие объекты не сгибаются при столкновении. В настоящее время все чаще используются гибкие сигнальные дорожные столбики, которые легко деформируются при столкновении.

Цель данного исследования – изучить травмоопасность сигнальных дорожных столбиков Delnorth СТИЛФЛЕКС для незащищенных участников дорожного движения при столкновении. В рамках исследования использовались как практические испытания, так и моделирование методом конечных элементов.

Согласно полученным результатам, вероятность получения серьезной травмы незащищенным участником дорожного движения при столкновении с сигнальными дорожными столбиками СТИЛФЛЕКС на скоростях до 100 км/ч представляется низкой. Подобный результат объясняется несколькими факторами. В частности - низкой массой, гибкостью, способностью к одновременному кручению и изгибу при деформации. Все перечисленное позволяет столбику эффективно деформироваться при столкновении.

При испытаниях сигнальных дорожных столбиков из твердой древесины использовалась модель человеческой головы. Согласно полученным результатам, столкновение со столбом из древесины представляет угрозу уже при скорости 13 км/ч. При столкновении на скоростях выше 13 км/ч, ускорение превышает предельно допустимый IARV показатель 180G. Ускорение при испытаниях с моделью человеческого торса ускорение составляет 79G, что также превышает предельно допустимый IARV показатель 60G.

Согласно результатам настоящего исследования, сигнальные дорожные столбики СТИЛФЛЕКС значительно менее травмоопасны для незащищенных участников дорожного движения, чем стандартные столбы из твердой древесины.

СОДЕРЖАНИЕ

КРАТКИЙ ОБЗОР	1
1. ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.1 Рамки исследования.....	3
1.2 Базовая информация	3
1.3 Критерии оценки травмы.....	4
1.4 Методология оценки травмы	6
2. Методология испытаний.....	8
2.1 Статический изгиб.....	8
2.2 Столкновение	8
2.3 Методология моделирования	10
2.4 Ограничения	10
3. РЕЗУЛЬТАТЫ	11
3.1 Результаты по сигнальному дорожному столбику Delnorth СТИЛФЛЕКС.....	11
3.1.1 Результаты статических испытаний	11
3.1.2 Результаты динамических испытаний: Лобовое столкновение	12
3.1.3 Результаты динамических испытаний: Направление удара.....	15
3.2. Результаты моделирования для сигнального дорожного столбика Delnorth	17
3.2.1 Первое приближение	17
3.2.2 Дальнейшее моделирование	18
3.3. Жесткий деревянный столб	20
4. ОЦЕНКА ТРАВМООПАСНОСТИ.....	22
5. ВЫВОДЫ.....	23
6. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	23
Приложение I: Калибровка ударной части (голова).....	25
Приложение II: О компании НІЕ.....	26

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Рамки исследования

В данном отчете представлены результаты исследования травмоопасности сигнальных дорожных столбиков Delnorth СТИЛФЛЕКС, изготавливаемых компанией Delnorth International Roadside Products, для незащищенных участников дорожного движения (велосипедистов, мотоциклистов). Сигнальные дорожные столбики Delnorth СТИЛФЛЕКС изготавливаются из гибкого цельного стального профиля швеллерного сечения (сталь 1,2 мм). Конструкция дорожного столбика рассчитана таким образом, чтобы максимально эффективно сопротивляться мелким воздействиям, но сминаться при столкновении с транспортным средством.

В рамках исследования рассматривались следующие параметры столкновения:

- Скорость сближения до 100 км/ч
- Защита головы и тела отсутствует
- Голова защищена шлемом
- Разнообразные углы сближения
- Сравнение с обычными столбами из твердого дерева.

1.2 Базовая информация

Сигнальные дорожные столбики используются для обозначения края проезжей части как на крупных магистралях, так и не менее значимых дорогах. Сигнальные дорожные столбики предупреждают водителя об опасности, например - об изменении направления дороги. Зачастую сигнальные дорожные столбики оснащают светоотражающими элементами.

Для первоначального определения безопасности сигнальных дорожных столбиков авторы данного исследования изучили некоторую доступную на данный момент литературу по этому вопросу. Большинство авторов, изучавших данный вопрос, высказывают обеспокоенность об авариях с участием мотоциклов в развитых странах. Ниже приводится краткая сводка полученной информации.

В большинстве случаев в столкновении со столбом участвует сам водитель мотоцикла, который под действием инерции пересекает дорогу уже после падения с мотоцикла (Duncan et al., 2000). По результатам анализа австралийской базы данных летальных аварий за 1992 (FORS, 1992) примерно 25% аварий с участием мотоциклистов, которые закончились летальным исходом, были связаны с выездом за пределы дорожного полотна на повороте, а еще 10% - с выездом за пределы дорожного полотна на ровном участке. В большинстве случаев сближение мотоцикла с объектами за пределами дорожного полотна происходит под очень малым углом: 10 - 30° (Oullet 1982 г., Quincey et al., 1988 г.; FEMA 2000 г.). Наличие прочных и жестких объектов на обочине дороги значительно повышает риск серьезной травмы для незащищенных участников движения – велосипедистов и мотоциклистов (Gibson and Benetatos, 1998 г.).

Группа авторов под руководством Hurt (Hurt et al., 1981 г.) изучила более 900 аварий с участием мотоциклистов, которые произошли за 5 лет в окрестностях Лос-Анджелеса. На основании результатов данного исследования, другой исследователь, Quillet (Quillet, 1982 г.) установил, что травмы тяжести AIS3+¹¹ возникали в 46% аварий, в которых тело участника движения пострадало

¹¹ Бал опасности травмы (сокращенно AIS) – это стандартный метод категоризации травм по типу и степени тяжести, AAAM (1990 г.). Шкала предполагает 6 категорий травм: AIS1 представляет собой наименее опасные травмы, AIS6 - максимально опасные.

при столкновении с деревьями, столбами и другими объектами (т.е. без травм головы и шеи). При этом, столкновение с сигнальными дорожными столбиками произошло в 30% случаев, а с дорожным покрытием или тротуаром - в 4% случаев. Подобное наблюдается при травмах головы и шеи в 41 % случаев при столкновении с деревьями (столбами), в 34 % случаев при столкновении с дорожными столбиками и в 16 % случаев - с непосредственно дорожным покрытием, уровень травм при этом степени тяжести AIS3+. По мнению исследователя, основная причина повышенной травмоопасности столбов, указателей, деревьев и других подобных объектов состоит в том, что они являются жесткими поверхностями, которые расположены перпендикулярно направлению движения.

1.3 Критерии оценки травмы

Мужской манекен «Гибрид III» среднего размера (50 перцентиль) используется в США в сочетании с требованиями Федерального стандарта по безопасности автомобилей (FMVSS 208) с 1983 г. Голова манекена «Гибрид III» (NIII) состоит из алюминиевой оболочки, покрытой виниловой кожей постоянной толщины. Конструкция головы позволяет устанавливать в нее акселерометры для измерений при столкновении. Виниловая «кожа» разработана таким образом, чтобы максимально отвечать поведению настоящей кожи при ударном воздействии. Разработан ряд максимально допустимых критериев ускорения для калибровки.

Такие показатели получили название Референсных значений для оценки тяжести травмы (IARV), они используются как предельно допустимые значения ускорений при краш-тестах с использованием манекена. Указанные значения соответствуют минимальному риску травмы для человека, соответствующего по размеру манекену, в условиях столкновения. Как правило, IARV устанавливаются таким образом, чтобы вероятность серьезной травмы (>3 AIS) составляла 5%. Критерии IARV позволяют оценить вероятность травмы незащищенного участника движения при столкновении с сигнальным дорожным столбиком.

Наибольшую опасность для велосипедистов и мотоциклистов представляют травмы, обусловленные непосредственным ударом головы или торса о сигнальные дорожные столбики. В связи с этим IARV для оценки тяжести травмы основываются на показателях ускорения для головы, груди и копчика. Ниже вкратце рассматриваются используемые IARV:

Травма головы

Группа авторов под руководством Лиснера (Lissner et al., 1960 г.) предлагает использовать кривую переносимости сотрясений, разработанную в университете г. Уэйн. (рис. 1). Кривая представляет собой график допустимого ускорения головы (передне-заднее ускорение черепа, измеренное на затылочной кости) при лобовом столкновении с жесткой плоской поверхностью при различной продолжительности импульса (SAE, 1980 г.).

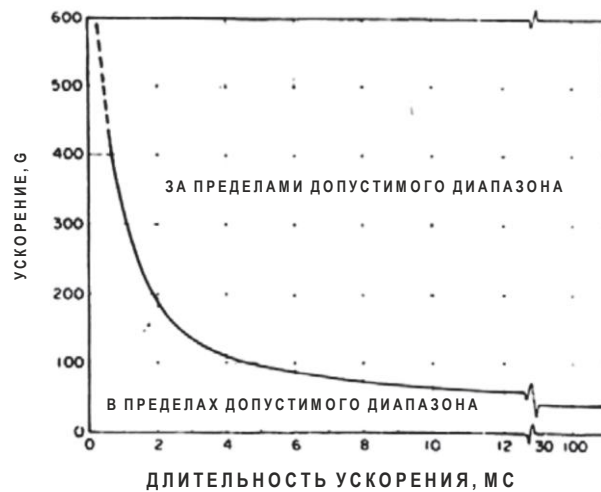


Рисунок 1. Кривая переносимости сотрясений, разработанную в университете г. Уэйн, SAE 1980 г.

Не так давно группа авторов (Mertz, Irwin, Prasad, 2003 г.) опубликовала кривую зависимости вероятность раскола черепа от результирующего ускорения в центре тяжести головы, основанную на результатах испытаний с использованием головы манекена. На основании полученных результатов для мужского манекена NIII среднего размера (50 процентиль) было предложено использовать предельное значение 180G. В этот показатель заложен 5% риск раскола черепа взрослого человека.

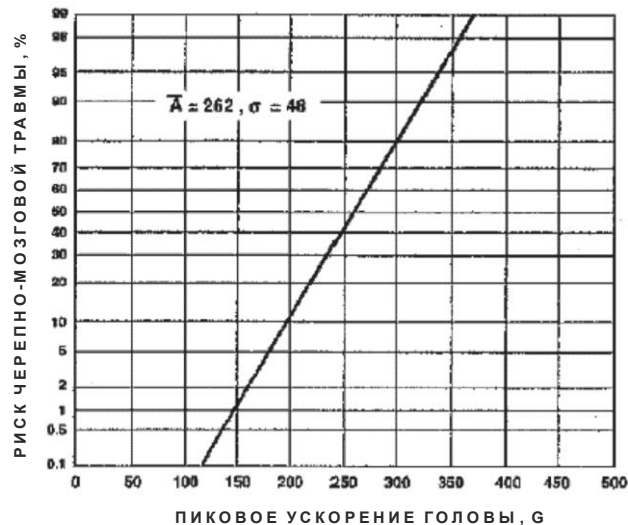


Рисунок 2. Кривая вероятности раскола черепа взрослого человека в зависимости от пикового ускорения головы (на основании данных Mertz, Irwin, Prasad, 2003 г.).

Травма грудной клетки

IARV для ускорения грудной клетки замерялись в точке манекена NIII (50 процентиль), соответствующей позвонку T4 (Mertz, 1984 г.). Предельное значение для грудной клетки на основании результатов с участием добровольцев установлено на уровне 60G. Ускорение на уровне позвонка T4 менее 60G (длительность импульса – 3 мс) ассоциируется с риском серьезной травмы (>3 AIS) органов грудной клетки, обусловленной непосредственно ускорением, менее 5%. Следует заметить, что существуют и другие механизмы, которые могут привести к травме, например, сжатие грудной клетки или нагрузка на грудную клетку.

Травма таза

Для оценки интенсивности бокового столкновения Мерц (Mertz, 2002 г.) предложил использовать боковое ускорение на уровне таза. При использовании мужского манекена среднего размера риску серьезной травмы таза, равному 5%, соответствовало ускорение 130G.

В своей работе, группа исследователей (Mertz, Irwin, Prasad, 2003 г.) представила критерии IARV для манекенов семейства NIII различного размера, учитывающие размер и мышечную силу. Эти критерии приводятся в таблице 1. Именно эти критерии чаще других используются при испытаниях безопасности автомобилей. В рамках настоящего исследования использовались критерии для головы, грудной клетки и таза, основанные на мужском манекене среднего размера (выделены серой заливкой).

Таблица 1. Критерии IARV для головы, грудной клетки и таза (Mertz, Irwin, Prasad, 2003 г.). Используемые значения выделены серым.

IARV	МЛАДЕНЦЫ			ДЕТИ			ВЗРОСЛЫЕ		
	6 мес	12 мес	18 мес	3 года	6 лет	10 лет	Женщина, мал.	Мужчина, сред.	Мужчина, крупн.
Пиковое ускорение головы в ЦТ, G	156	154	160	175	189	189	193	180	175
Пиковое ускорение грудной клетки на уровне T4, G	88	87	89	92	93	82	73	60	54
Боковое ускорение таза, G	286	269	256	234	210	180	159	130	118

1.4 Методология оценки травмы

Вероятность травмы при столкновении с сигнальным дорожным столбиком в рамках данного исследования определялась при помощи метода, сочетающего в себе практические испытания и теоретические расчеты. Сигнальные дорожные столбики СТИЛФЛЕКС (рис. 3) сравнивали с обычными сигнальными дорожными столбиками из твердой древесины (рис. 4). Параметры столкновения, которые использовались для сравнения:

- Скорость сближения до 100 км/ч
- Лобовое столкновение при наличии или отсутствии шлема, различные углы сближения
- Наличие или отсутствие защиты тела.

Процесс оценки включает в себя следующие этапы:

- Испытания гибкого стального столба при различных скоростях сближения (до 21 км/ч) и различном расположении столба и манекена, изучение зависимости ускорений различных частей манекена от параметров столкновения
- Разработка и валидация модели конечных элементов для гибкого стального столба на основе результатов практических испытаний
- Экстраполяция результатов на большие скорости сближения (до 100 км/ч) при помощи модели конечных элементов
- Испытания жесткого деревянного столба при различных скоростях сближения и различном расположении столба и манекена, изучение зависимости ускорений различных частей манекена от параметров столкновения
- Сравнение результатов, полученных по двум типам столбов, оценка вероятности травмы.

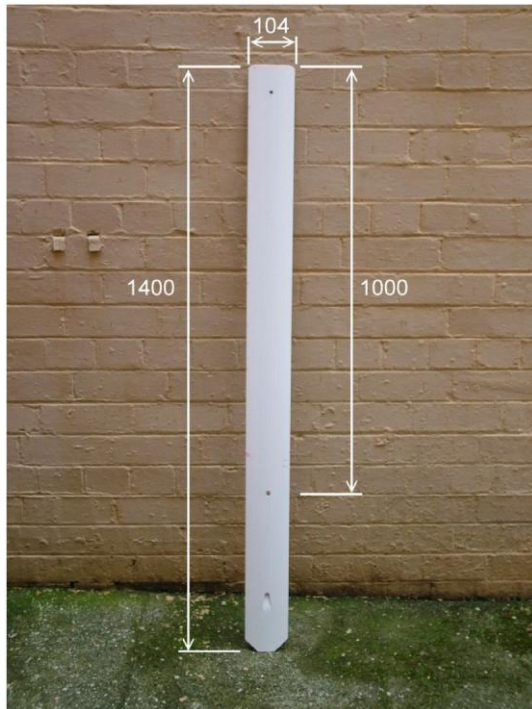


Рисунок 3. Сигнальный дорожный столбик Delnorth СТИЛФЛЕКС

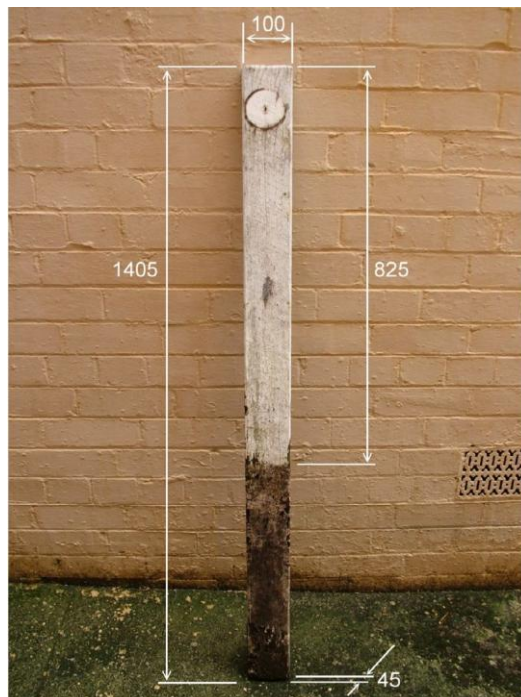


Рисунок 4. Жесткий деревянный сигнальный дорожный столбик

2. Методология испытаний

2.1 Статический изгиб

Гибкость сигнального дорожного столбика Delnorth определяется скругленным поперечным сечением. Испытания с применением статического изгиба при жестком закреплении краев столба проводились по двум причинам:

- Определить жесткость и тип деформации столба при изгибе и кручении
- Собрать данные, необходимые для валидации модели конечных элементов

Принимая во внимание то, что центр сдвига поперечного сечения лишь немного смещен относительно оси столба, сопротивление столба кручению значительно ниже, чем сопротивление изгибу. Склонность к кручению была подтверждена уже на этапе подготовки стенда для статических испытаний. Во время самих испытаний режим деформации столба специальным образом контролировался, чтобы получить чистый изгиб без кручения. Кручение контролировали при помощи двух линейных потенциометров, размещенных как показано на рисунке 5. Нагрузку смещали в поперечной плоскости столба до совмещения с центром сдвига таким образом, чтобы отклонение на обоих потенциометрах было одинаковым.



Рисунок 5. Сигнальный дорожный столбик Delnorth СТИЛФЛЕКС, статические испытания на изгиб, показаны направление приложения нагрузки и два потенциометра

2.2 Столкновение

Для динамических испытаний столкновения был разработан специальный испытательный стенд. Стенд представляет собой короб размерами 1200 x 800 мм глубиной 500 мм, наполненный песчаным грунтом, в который вкопан сигнальный дорожный столбик. На коробе закреплена 5-метровая штанга с ударным маятником. Ударная часть с соответствующими измерительными приборами находится в нижней части маятника, закрепленная 4 нитями как показано на рисунке 6.

В качестве ударной части использовалась 5-килограммовая голова манекена среднего размера (50

процентиль), снабженная тремя одноосными акселерометрами, закрепленными в центре тяжести. Голова манекена соответствует голове манекена NIII среднего размера, описанного выше. Ударная часть прошла калибровку при помощи стандартного калибровочного испытания для головы манекена NIII. Результаты калибровочных испытаний приводятся в приложении I.

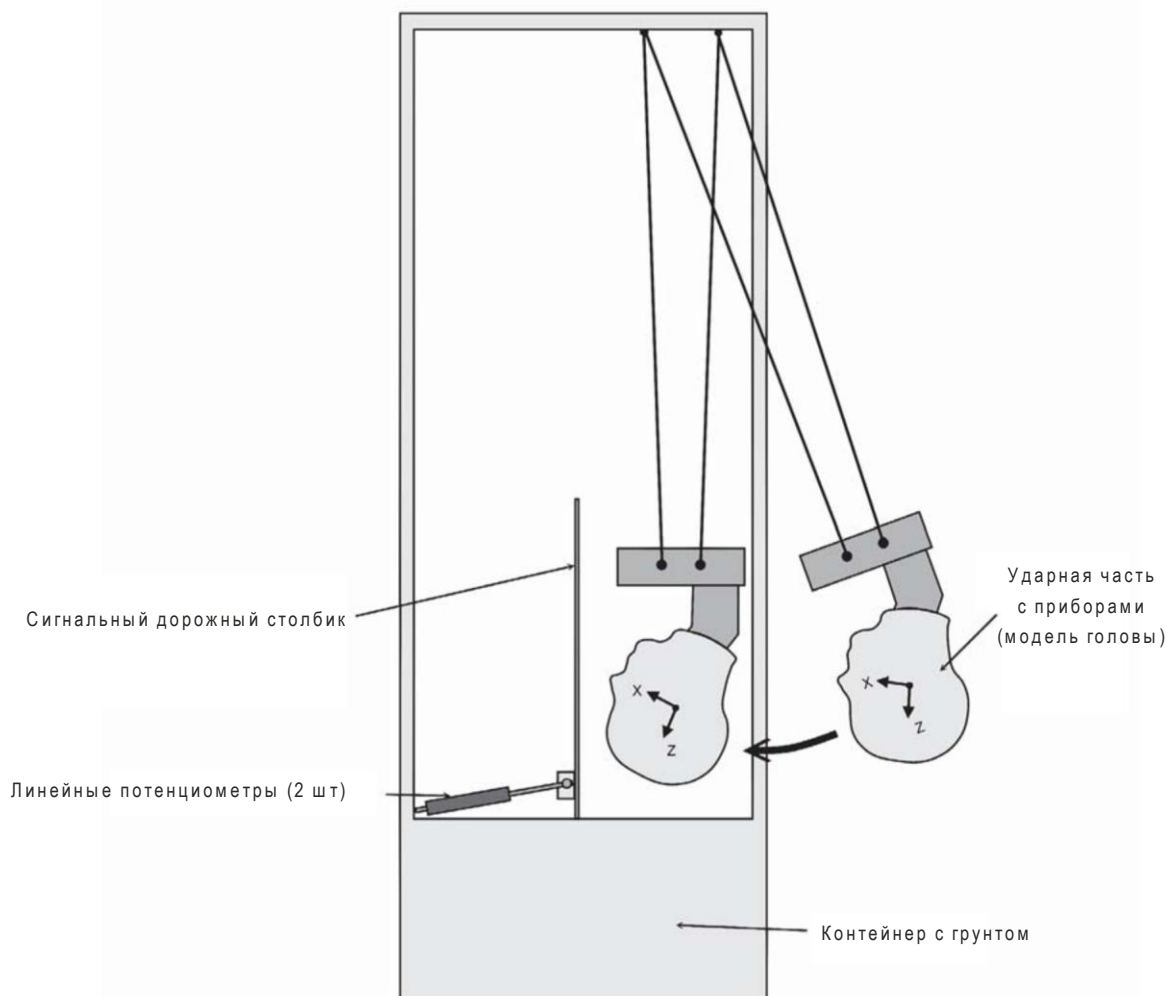


Рисунок 6. Схема ударного маятника

Точка приложения удара как для сигнального дорожного столбика Delnorth СТИЛФЛЕКС, так и для жесткого деревянного столбов находилась примерно в 220 мм от поверхности грунта (в этой точке сопротивление столба удару является практически максимальным). Во время испытаний осуществлялся удар маятника о столб с различной скоростью и в различных обстоятельствах:

1. Ударная часть с инструментами (без шлема)
2. Ударная часть с инструментами (в шлеме)
3. 5-килограммовая болванка без инструментов (если есть вероятность повредить инструмент)
4. 22-килограммовая ударная часть, соответствующая грудной клетке среднего человека (50 процентиль).

В перерывах между ударами столб поворачивали для получения необходимого угла схождения, после чего трамбовали грунт, чтобы обеспечить надежную опору для столба.

Для всех измерений использовали акселерометры, рассчитанные на перегрузку до 2000G. Когда это

возможно, выполняли измерение отклонения столба при ударе назад при помощи линейного потенциометра. Поперечный интервал между линейными потенциометрами составил 285 мм.

Для определения эффекта направленности оси удара относительно сигнального дорожного столбика СТИЛФЛЕКС использовалась 5-килограммовая болванка без инструментов. Такой подход обусловлен нежелательностью повреждения откалиброванной ударной части при ударе о ребро столба.

Параметры выполненных испытаний приводятся в таблице 1.

Таблица 2. Матрица испытаний

Высота падения ударной части, м	ФРОНТАЛЬНЫЙ УДАР								НАПРАВЛЕННЫЙ УДАР				
	Столб Delnorth				Деревянный столб				Столб Delnorth				
	0°	30°	60°	90°	180°	0°	30°	60°	90°	180°			
0,376	HF	-	CF	-	HF	-	CF	MF	-	-	-	-	-
1,0	HF	-	CF	-	HF	-	CF	MF	-	-	-	-	-
2,0	HF	HNF	CF	-	HF	HNF	CF	MF	MF	MF	MF	MF	MF

Условные обозначения: HF - откалиброванная ударная часть

HNF – ударная часть в шлеме

MF – 5-килограммовая болванка

CF – 22-килограммовая ударная часть, соответствующая грудной клетке

2.3 Методология моделирования

Моделирование поведения сигнального дорожного столбика Delnorth СТИЛФЛЕКС при статическом изгибе и ударном воздействии моделировалось при помощи стандартного программного обеспечения, позволяющего работать с 7 конечными элементами. Столб моделировался при помощи двумерных четырехсторонних элементов толщиной 1,6 мм. В качестве материала использовалась сталь из базы данных Strand 7 с модулем упругости 200 ГПа. При первом приближении использовалось 1400 элементов. Ударная часть в рамках модели рассматривалась как материальная точка. Для контроля параметров соприкосновения использовались специальные промежуточные элементы.

Согласно рекомендациям производителя, устанавливая сигнальный дорожный столбик СТИЛФЛЕКС следует таким образом, чтобы над поверхностью грунта находилось 1000 мм столба. Позади столба рекомендуется сделать выемку и заполнить ее песком. Это позволит столбу сгибаться ниже уровня грунта. В рамках модели жестко закреплены были только нижние 300 мм длины столба.

Результаты моделирования сравнивались с результатами практических статических испытаний на изгиб и кручение.

Для контроля параметров соприкосновения использовались специальные промежуточные элементы. Такой метод позволяет принять силу трения между ударной частью и столбом равной нулю. Во время практических испытаний отрицательное ускорение ударной части измеряли при помощи акселерометров, расположенных непосредственно внутри нее. Для сравнения результатов моделирования и динамических испытаний использовалось отрицательное ускорение материальной точки.

Следующий этап проверки модели состоял в сравнении результатов динамических испытаний.

После валидации модель использовалась для прогнозирования последствий столкновения на скоростях до 100 км/ч (27,8 м/с).

2.4 Ограничения

По результатам статических испытаний с использованием сигнального дорожного столбика Delnorth СТИЛФЛЕКС стало ясно, что для достижения деформации упругого изгиба требуется нелинейное динамическое моделирование. Требования к расчетным мощностям для моделирования прогиба и деформации при высоком напряжении крайне высоки. Для упрощения расчетов в первом приближении в модель были внесены некоторые изменения. С вводом в модель таких изменений возникли определенные ограничения:

1. Ударная часть в рамках модели рассматривается как материальная точка. При этом площадь соприкосновения сокращается до одной точки, в то время как при реальном ударе точек соприкосновения может быть несколько. Кроме того, такой метод не позволяет оценить соответствие ударной части требованиям, поскольку она представляется в виде материальной точки.
2. При моделировании ударного воздействия на низкой скорости, нити маятники просчитывались как жесткие штанги. При таком подходе материальная точка ударной части ограничена в движении в вертикальной и поперечной плоскостях. Это ограничение не использовалось при моделировании ударов на высоких скоростях.
3. Сила трения между ударной частью и столбом равна нулю. Таким образом, передача нагрузки между взаимодействующими поверхностями возможна только перпендикулярно соприкасающимся поверхностям.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1 Результаты по сигнальному дорожному столбику Delnorth СТИЛФЛЕКС

3.1.1 Результаты статических испытаний

Результаты статических испытаний на изгиб показаны на рисунке 7. Как уже говорилось ранее, во время самих испытаний режим деформации столба специальным образом контролировался, чтобы получить чистый изгиб без кручения. При достижении изгибающего момента порядка 17 Нм гибкий столб резко деформируется и после не оказывает существенного сопротивления изгибу. При сгибании на 90° столб не подвергается пластической деформации и после того, как на него перестает действовать нагрузка, принимает исходную форму. Такой вид деформации объясняется упругим уплощением скругленного поперечного сечения в точке максимального изгибающего момента (возле ограничителей). Получающееся при такой деформации плоское поперечное сечение обладает крайне низким сопротивлением изгибу, поскольку момент инерции такого сечения также крайне мал.

Если убрать компенсаторы кручения, то деформация столба будет сочетать в себе черты изгиба и кручения. При кручении облегчается переход сечения в плоское состояние, в результате чего снижаются жесткость на изгиб и амплитуда критической нагрузки. Степень уменьшения критической нагрузки при комбинированной деформации изгиба и кручения в рамках данного исследования не определялась.

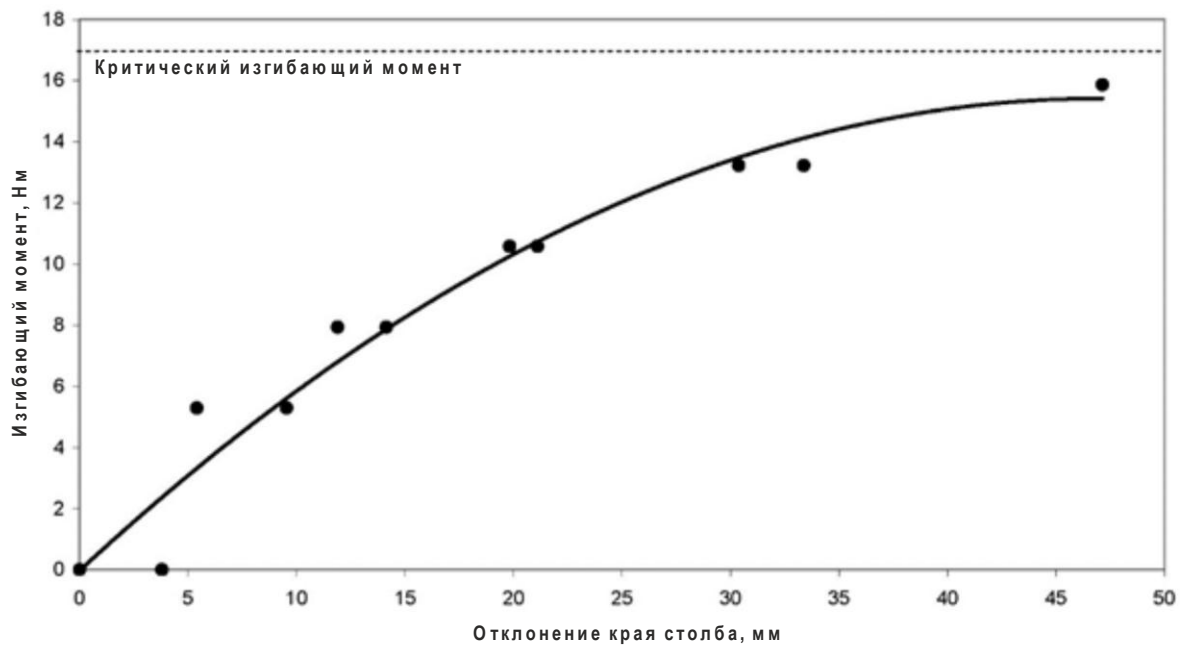


Рисунок 7. Жесткость сигнального дорожного столбика Delnorth на статический изгиб

Следует заметить, что сигнальный дорожный столбик Delnorth СТИЛФЛЕКС оказался чувствительным к условиям закрепления. При различных условиях закрепления критический изгибающий момент был разным.

3.1.2 Результаты динамических испытаний: Лобовое столкновение

Реакция на столкновение

Ударные части маятника, соответствующие голове и грудной клетке, сбрасывали с высот, указанных в таблице 2. Во время испытаний регистрировалась зависимость пикового отрицательного ускорения ударной части от замеренной скорости сближения (см. рисунок 8). Пиковое отрицательное ускорения ударной части при скорости сближения 21 км/ч (5,8 м/с) составило 31G, что значительно ниже допустимых пределов. При использовании мотоциклетного шлема пиковое отрицательное ускорение при первом столкновении снизилось до 13G, а при повторном столкновении (задействован тот же участок шлема) – до 17G.

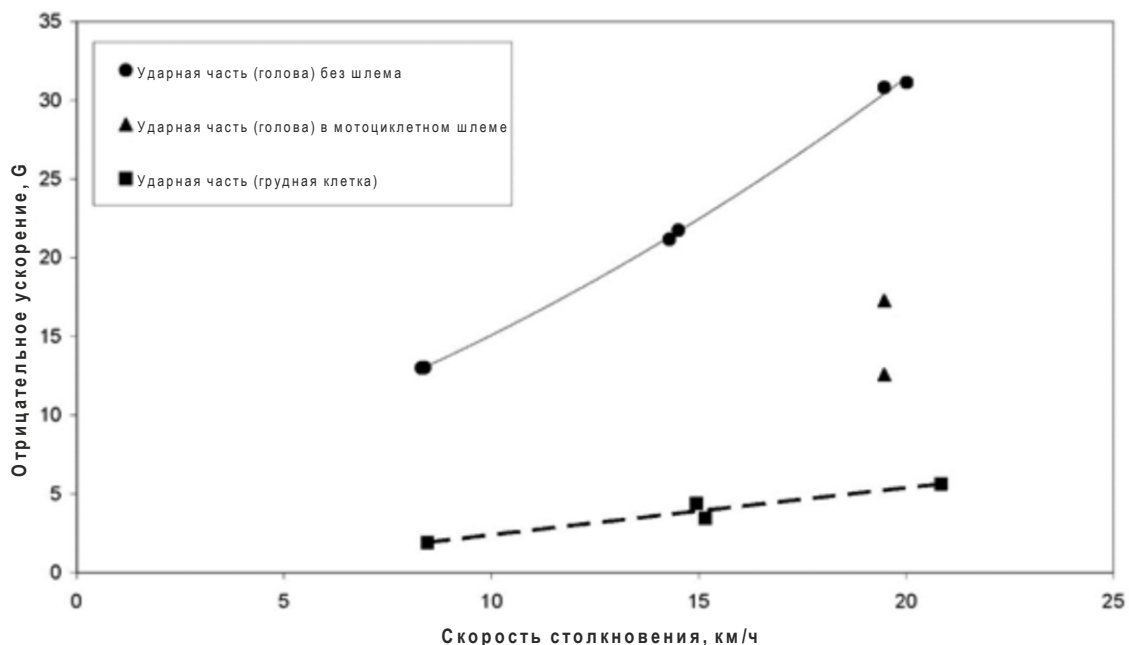


Рисунок 8. Величина ускорения ударной части при различных скоростях сближения и различном расположении сигнального дорожного столбика СТИЛФЛЕКС и манекена.

Ускорение, полученное при столкновении ударной части (голова) с сигнальным дорожным столбиком Delnorth СТИЛФЛЕКС, показано на рисунке 9. В первые мгновения столб обладает высоким сопротивлением нагрузке, однако после того, как нагрузка достигает критической отметки, сопротивление резко падает. Пиковое отрицательное ускорение соответствует пиковому изгибающему моменту порядка 396 Нм, что превышает изгибающий момент при статических испытаниях примерно в 23 раза.

Ударная часть, соответствующая грудной клетке, подвергалась значительно меньшему ускорению, за счет значительно большей массы (грудная клетка – 22 кг, голова - 5 кг). Пиковое отрицательное ускорение ударной части, соответствующей грудной клетке, при скорости сближения 21 км/ч (5,8 м/с) составило 5,6G. Это значительно меньше допустимых для грудной клетки показателей, которые оговаривались в разделе 1.3.

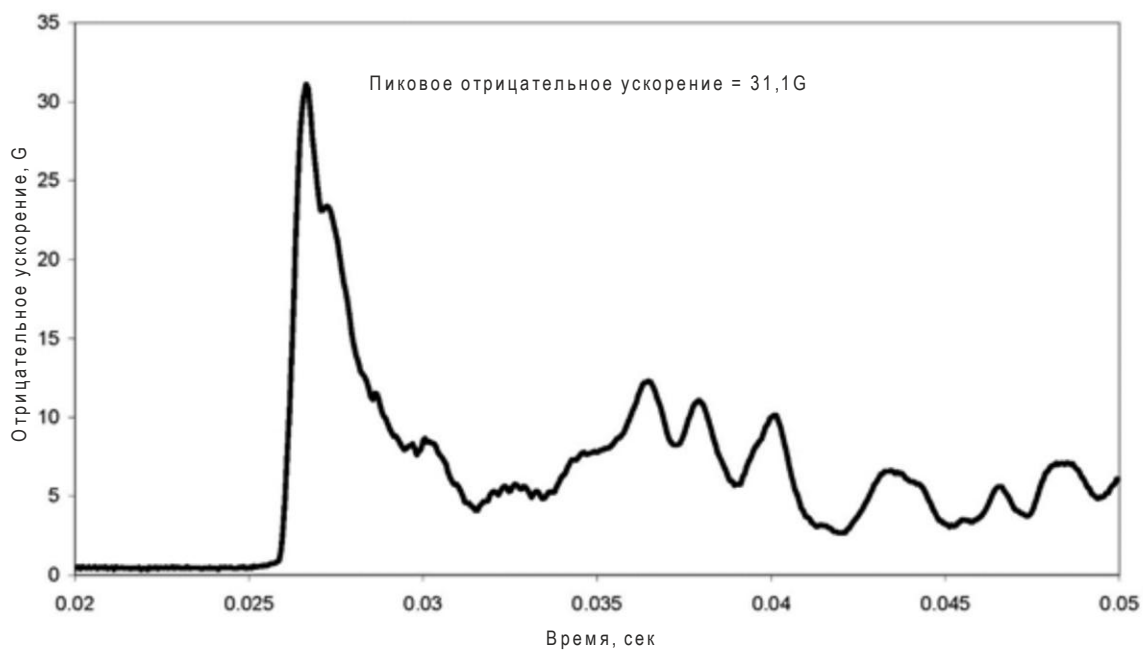


Рисунок 9. Импульс отрицательного ускорения ударной части, соответствующей голове, при столкновении с сигнальным дорожным столбиком Delnorth СТИЛФЛЕКС на скорости 21 км/ч

Деформация при ударе

В целом, сигнальный дорожный столбик Delnorth СТИЛФЛЕКС тяготеет к сгибанию под нагрузкой без необратимой пластической деформации. В большинстве случаев сила воздействия ударной части при столкновении приводила к комбинированной деформации изгиба и кручения, в результате чего ударная часть отклонялась в одну из сторон. Подобное поведение при деформации не явилось неожиданностью, поскольку было характерно и для статических испытаний. На рисунке 10 показан характерный график отклонения в точке удара. Одна из сторон столба сместилась сильнее другой, что говорит о наличии деформации кручения. Кроме того, на рисунке 10 показаны несколько кадров, иллюстрирующих деформацию столба.

Заметим, что ввиду особенностей конструкции маятника, в частности – наличия гибких тросов, боковое смещение ударной части при ударе было несколько ограничено. Такая конструкция позволяет улучшить курсовую устойчивость при ударе. При этом, однако, увеличивается время соприкосновения рабочих тел, в результате чего полученные таким образом результаты обладают определенным избыточным запасом прочности. При достаточно больших скоростях схождения (более 21 км/ч, т.е. 5,8 м/с) после столкновения с ударной частью столб практически полностью приминался к земле, после чего ударная часть свободно проходила над ним.

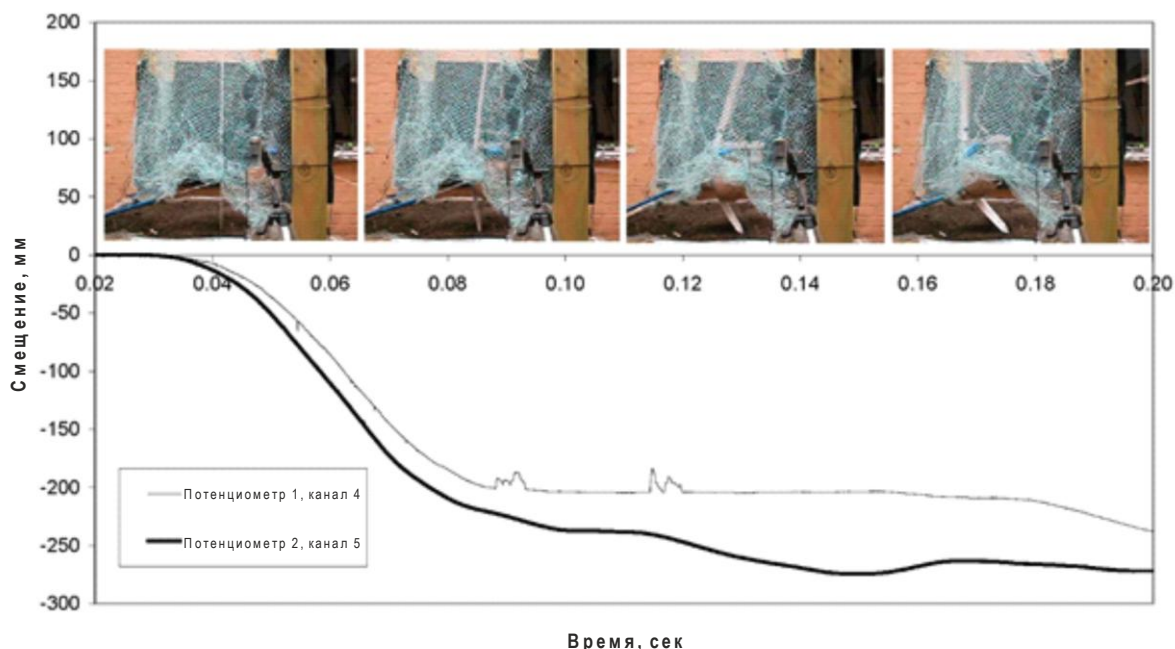


Рисунок 10. Деформация сигнального дорожного столбика Delnorth СТИЛФЛЕКС во время испытаний.

3.1.3 Результаты динамических испытаний: Направление удара

Для испытаний с различным расположением столба относительно направления удара использовались максимально достижимые в испытательном стенде скорости сближения (порядка 21 км/ч, т.е. 5,8 м/с). Результаты показаны на рисунке 10. Прогнозный результат, соответствующий определенному расположению, схематически показан на рисунке 10 в виде линии. Следует заметить, что прогнозируемое пиковое ускорение при фронтальном ударе при использовании болванки без оборудования будет ниже, чем при использовании ударной части с инструментами. Это объясняется различиями в жесткости этих двух ударных частей.

Результаты ударного воздействия на сигнальный дорожный столбик Delnorth СТИЛФЛЕКС болванки массой 5 кг при различном расположении столба показаны на рисунке 11. Согласно представленным на рисунке данным, пиковое отрицательное ускорение при угле встречи 30° было несколько выше, чем при лобовом ударе, а при угле встречи 60° - вновь ниже, чем при лобовом ударе. Это объясняется существенной деформацией столба, позволяющей болванке скользить по поверхности столба, снижая, тем самым, время соприкосновения.

Принимая во внимание характеристики сигнального дорожного столбика Delnorth СТИЛФЛЕКС, наибольшую опасность представляют столкновения при угле встречи 90° . Как можно видеть по данным, представленным на рисунке 11, диапазоны ускорений при встрече под таким углом были достаточно широки. Это связано с трудностями при настройке угла столкновения, который возможно регулировать только с шагом порядка нескольких миллиметров. При наименее опасном боковом столкновении отрицательное ускорение соответствовало таковому при лобовом столкновении.

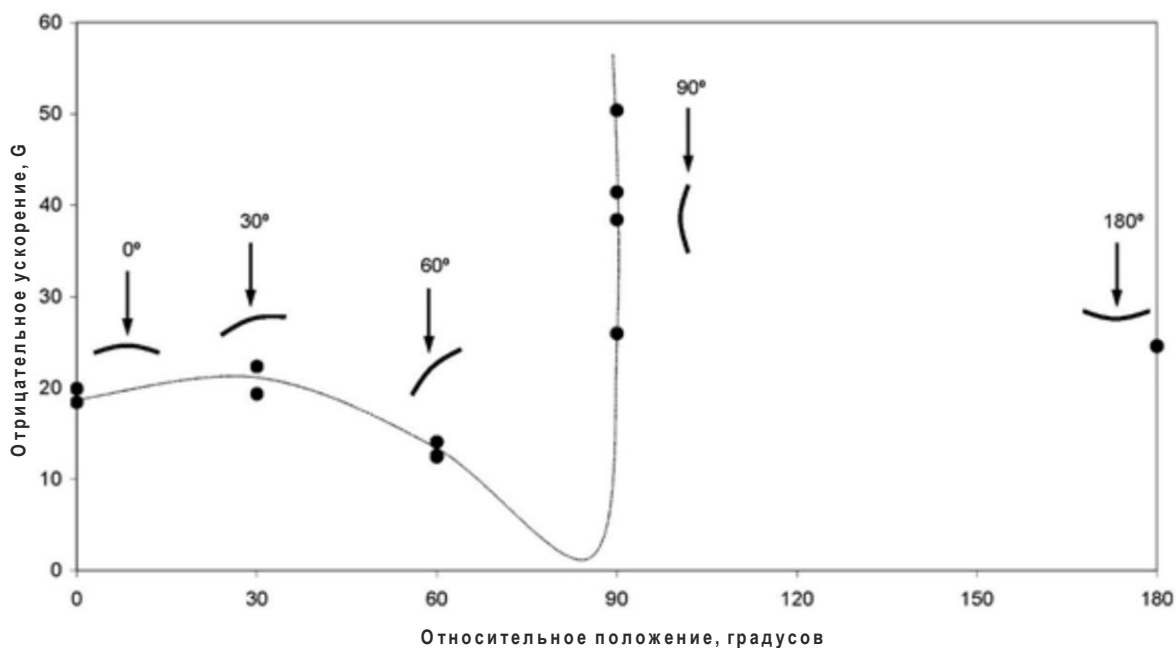


Рисунок 11. Результаты ударного воздействия на сигнальный дорожный столбик Delnorth СТИЛФЛЕКС болванки массой 5 кг при различном расположении столба. Символом «•» отмечены точки, полученные в результате измерений.

По представленным фотографиям можно видеть, что при столкновении столб сдвигался вбок и деформировался в противоположном направлении. В результате длительность соприкосновения снижалась, как можно видеть на примере столкновения под углом 60°. При наиболее опасном ударе (см. фотографии на рисунке 12) отрицательное ускорение было примерно в 2,5 раза выше, чем при лобовом ударе. Как можно видеть по фото, тонкий боковой профиль столба при ударе проходит через прилегающий грунт, а сам столб при этом подвергается скручиванию и изгибу, в результате чего болванка соскальзывает с поверхности столба.

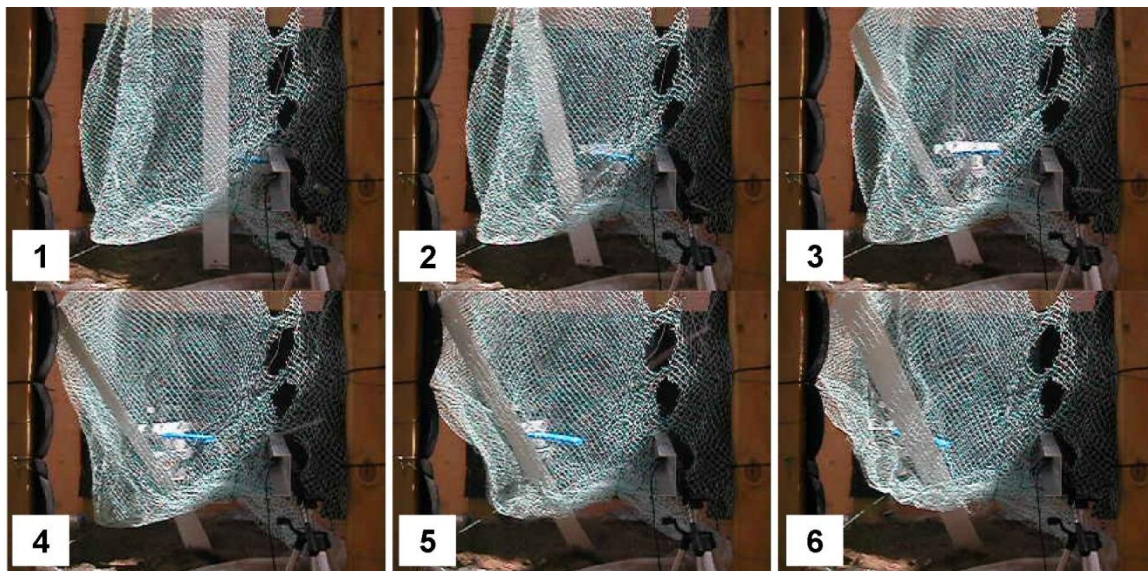


Рисунок 12. Деформация сигнального дорожного столбика Delnorth СТИЛФЛЕКС при ударе под углом 90°.

Принимая во внимание, что центр сдвига сигнального дорожного столбика Delnorth смещен относительно вертикальной оси, любой удар, который приходится на боковую сторону сигнального дорожного столбика, приведет к кручению столбика и соскальзыванию ударной части с поверхности столбика. С учетом сказанного, наиболее тяжелыми последствиями будут характеризоваться удары, направленные по центру сдвига столбика СТИЛФЛЕКС, поскольку в данном случае деформация столбика будет ограничена только изгибом.

3.2. Результаты моделирования для сигнального дорожного столбика Delnorth

3.2.1 Первое приближение

На рисунке 13 приводятся показатели отрицательного ускорения, полученные в результате моделирования и реальных измерений во время испытаний. Как можно видеть, моделирование дало точный прогноз пикового отрицательного ускорения для удара на скорости 21 км/ч (5,8 м/с). Ограничения, которые рассмотрены в разделе 2.4 выше, привели к появлению дополнительного сопротивления и высокочастотных вибраций ударной части (А). В результате ударная часть получила несколько ударов, о чем говорит количество крупных пиков на графике (В).

Сигнальный дорожный столбик Delnorth - Отрицательное ускорение ударной части – скорость сближения 21 км/ч

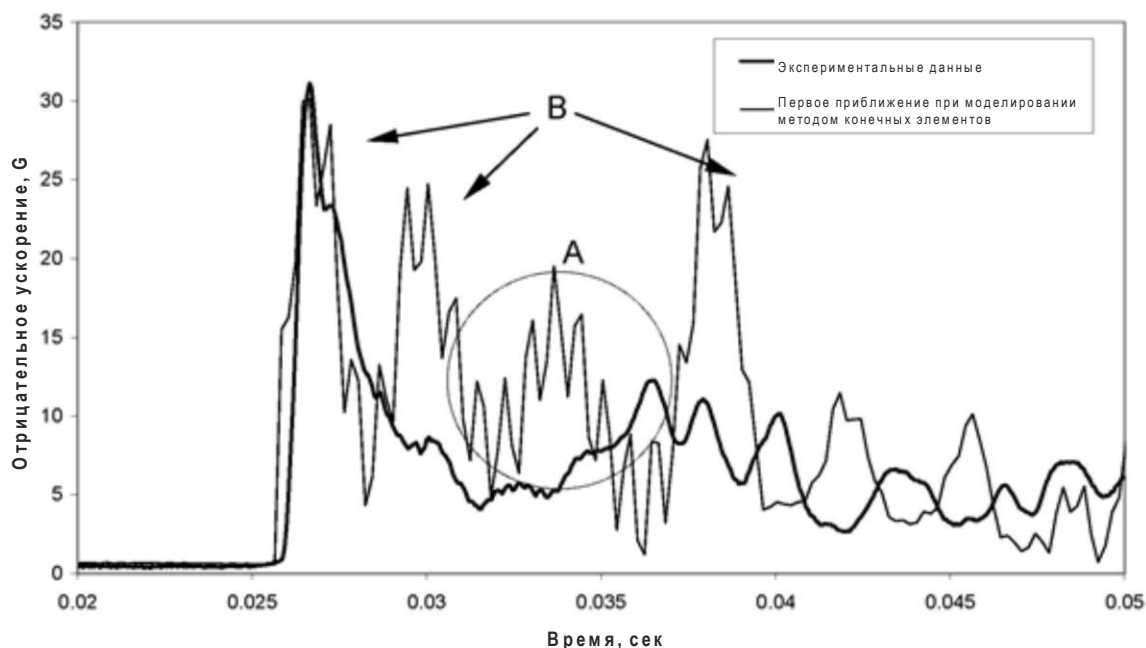


Рисунок 13. Сравнение показателей отрицательного ускорения, полученных в результате моделирования и замеров во время испытаний

При первом приближении удалось достаточно точно предсказать деформацию дорожного столбика СТИЛФЛЕКС. На рисунке 14 приводится сравнение деформации при моделировании и фотографий, сделанных при ударе на скорости 21 км/ч (5,8 м/с).

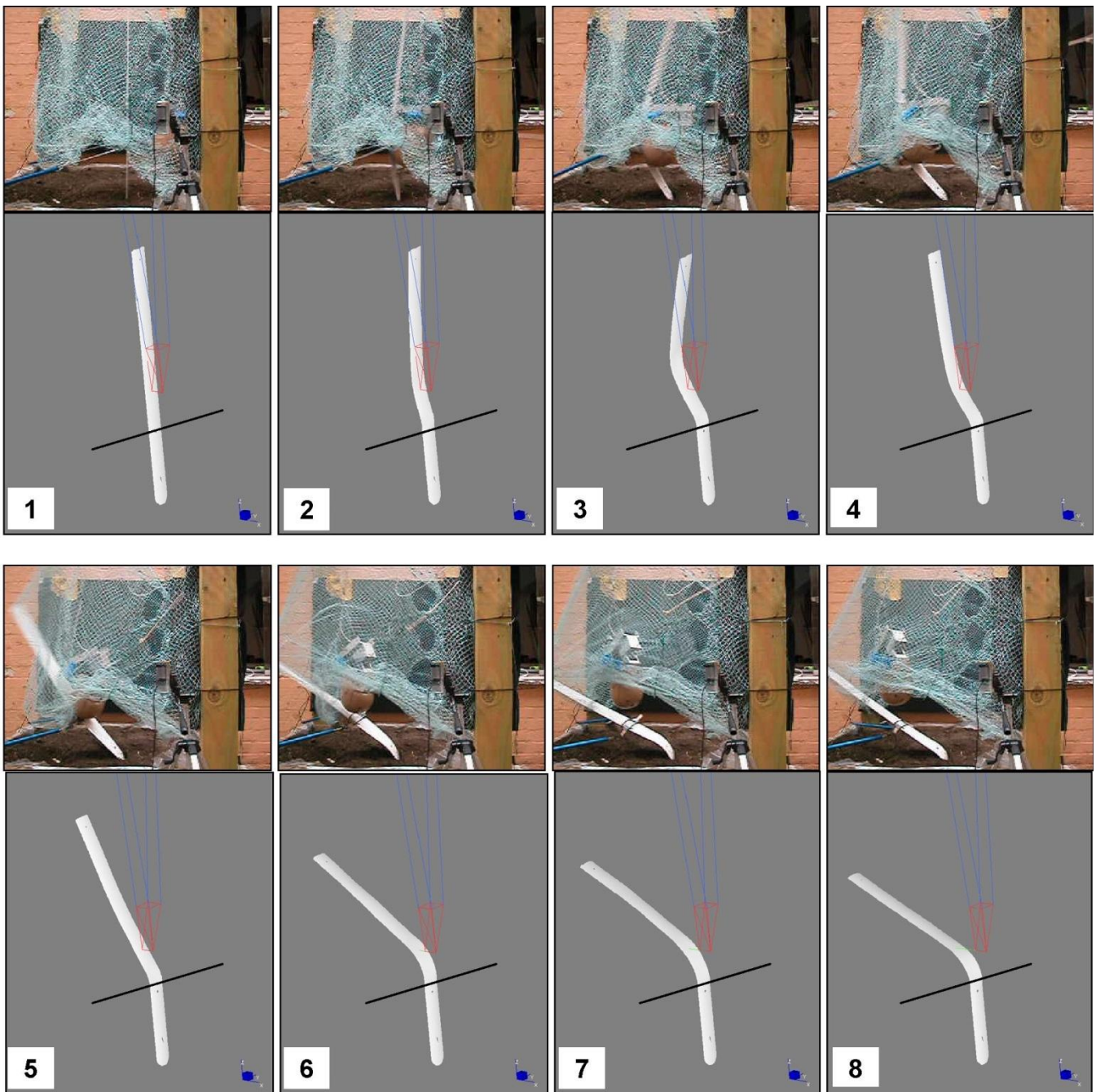


Рисунок 14. Деформация сигнального дорожного столбика Delnorth СТИЛФЛЕКС по данным реальных испытаний и моделирования.

3.2.2 Дальнейшее моделирование

Впоследствии модель была доработана с учетом результатов динамических испытаний. Сравнение результатов практических испытаний с результатами моделирования по заданным скоростям.

Ударное воздействие на сигнальные дорожные столбики Delnorth СТИЛФЛЕКС

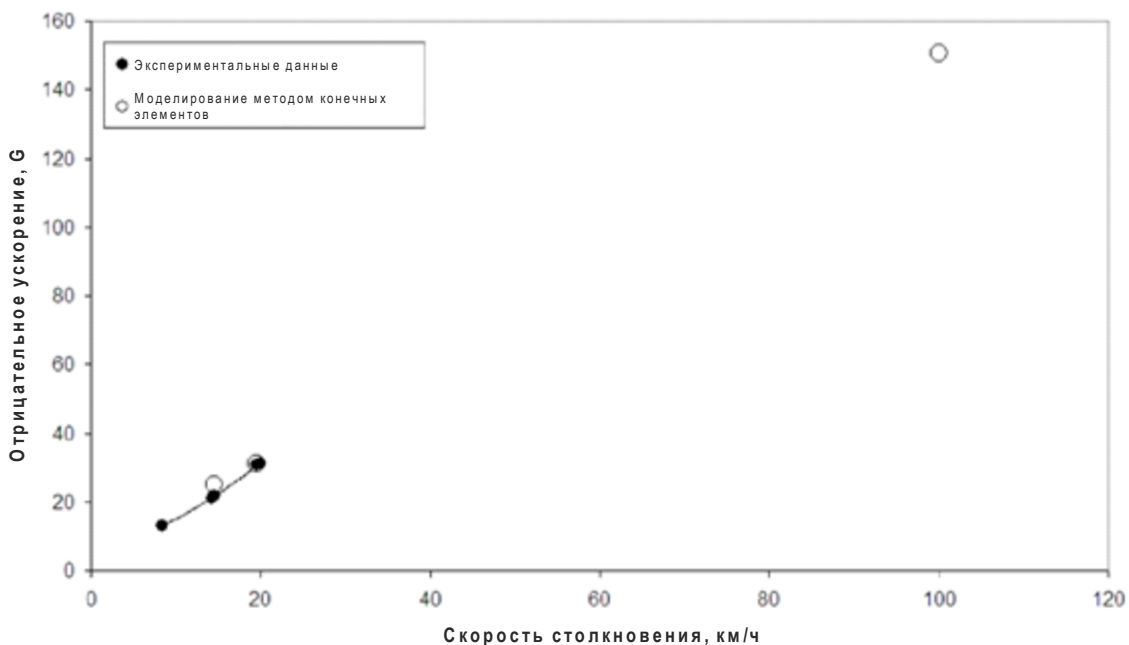


Рисунок 15. Скорости до 21 км/ч. Теперь, когда продемонстрирована способность модели адекватно прогнозировать показатели столкновения, моделирование можно использовать для прогнозирования показателей столкновения при скорости 100 км/ч (27,8 м/с) – результат моделирования также показан на графике. Как можно видеть, по результатам моделирования максимальное ускорение ударной части, соответствующей голове, при столкновении на скорости 100 км/ч составит порядка 150G.

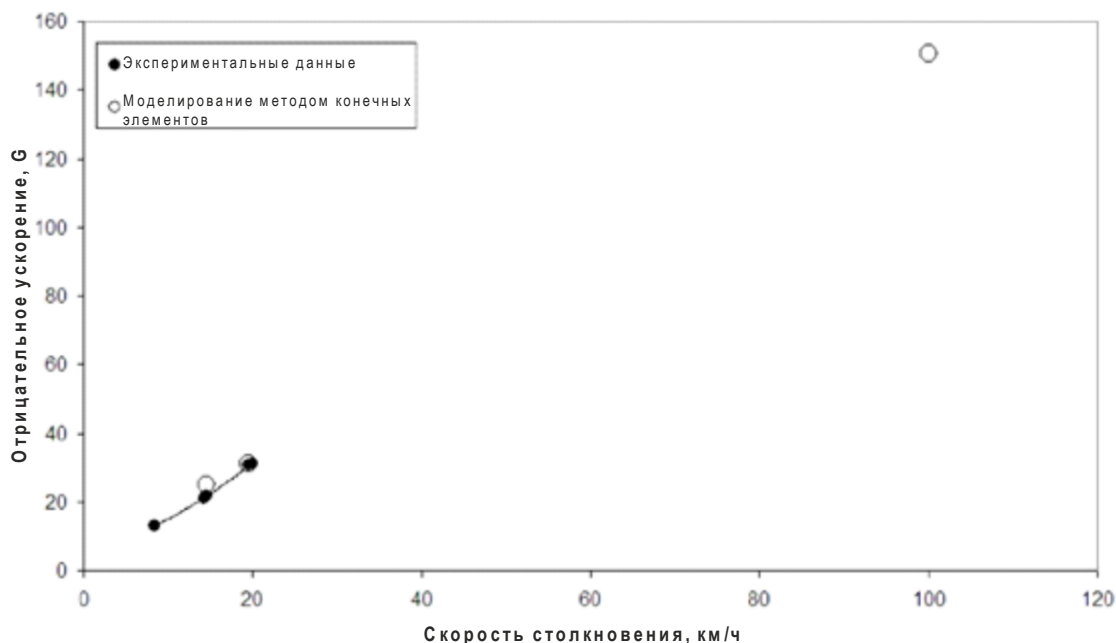


Рисунок 15. Сравнение результатов испытаний и моделирования при различных скоростях столкновения.

3.3. Жесткий деревянный столб

Ускорения, которые регистрировались на ударной части при столкновении с жесткими деревянными столбами, показаны на рисунке 16. Ускорение было тем больше, чем ближе к поверхности грунта приходился удар (т.е. тем больше, чем меньше рычаг). В результате изгибающий момент в почве был низким. Пиковое отрицательное ускорение, зарегистрированное на ударной части, соответствующей голове, при столкновении на скорости 21 км/ч (5,8 м/с), составило 364G. На ударной части, соответствующей грудной клетке, максимальное зарегистрированное ускорение составило 79G.

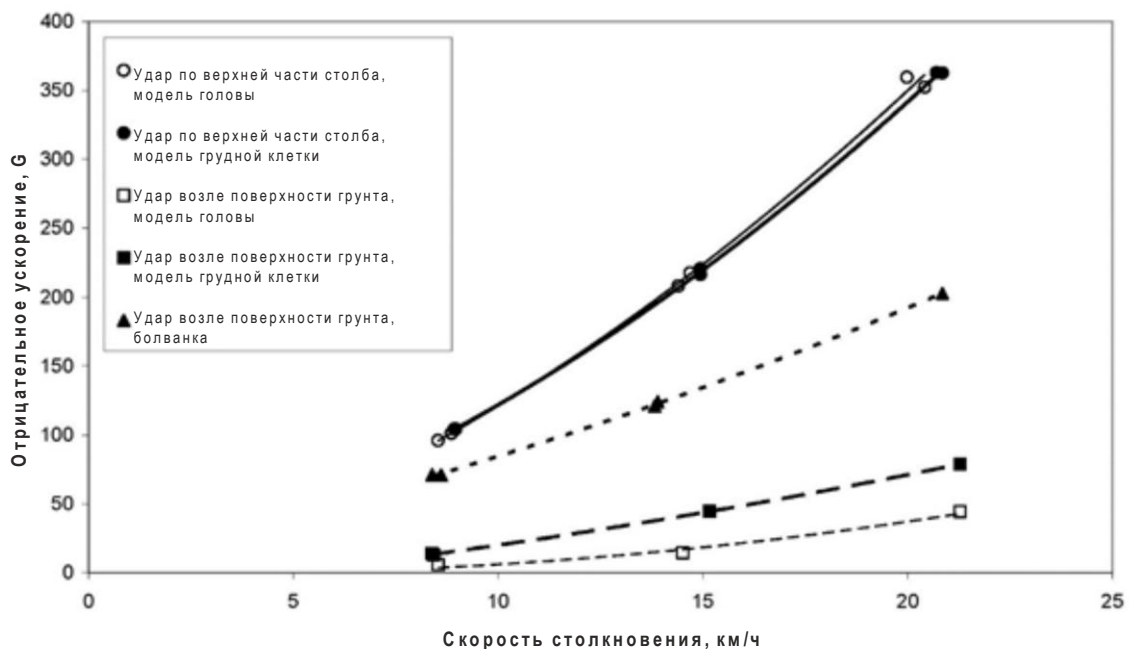


Рисунок 16. Столкновения с жесткими деревянными столбами при различных скоростях сближения и различном расположении столба и манекена.

Деформация деревянного столба при столкновении была минимальной. По большей части энергия столкновения поглощалась грунтом. На серии фотографий, показанных на рисунке 17, показано поведение столба при столкновении с ударной частью (голова) на скорости 21 км/ч (5,8 м/с).

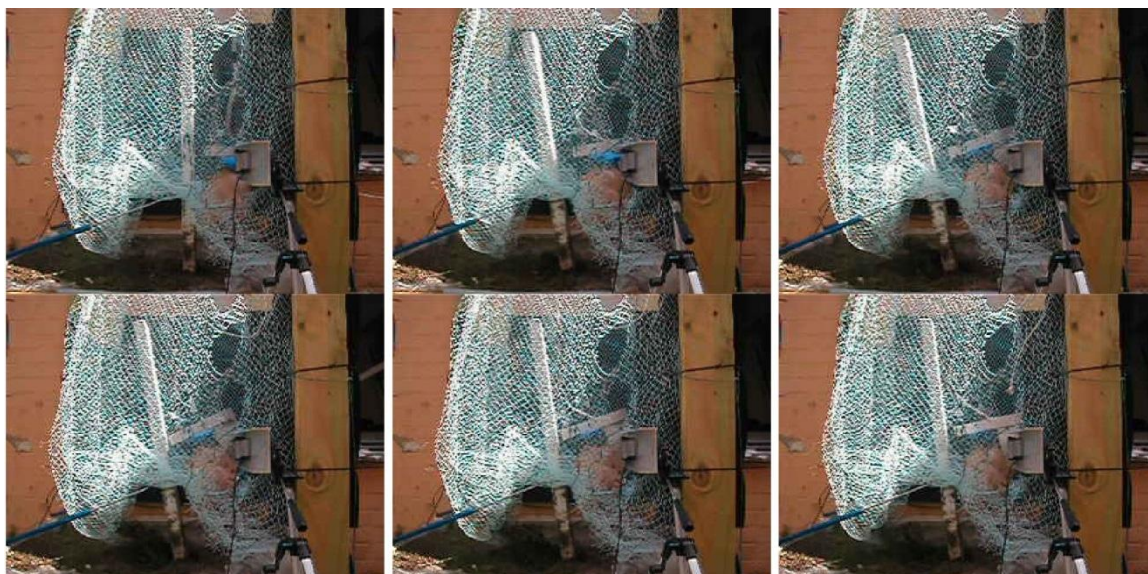


Рисунок 17. Столкновение ударной части (голова) с жестким деревянным столбом на скорости 21 км/ч (5,8 м/с). Деревянный столб не деформируется.

4. ОЦЕНКА ТРАВМООПАСНОСТИ

Сигнальный дорожный столбик Delnorth СТИЛФЛЕКС абсолютно травмобезопасен для участников дорожного движения, которые находятся в автомобиле.

На основании комбинированных результатов практических испытаний и компьютерного моделирования можно оценить травмоопасность сигнальных дорожных столбиков Delnorth СТИЛФЛЕКС для незащищенных участников дорожного движения при столкновении на различных скоростях. Оценка травмоопасности основана на представленных в разделе 1.3 контрольных значениях.

1. Согласно результатам тестирования, в диапазоне скоростей, используемых при тестировании, риск травмы при столкновении с сигнальным дорожным столбиком Delnorth СТИЛФЛЕКС для незащищенного участника дорожного равен нулю. При максимальной скорости столкновения при практических испытаниях (21 км/ч) ускорение ударной части (голова) составило 30G, при допустимом уровне 180G.
2. Аналогичным образом при максимальной скорости столкновения при практических испытаниях (21 км/ч) ускорение ударной части (грудная клетка) составило 5G, при допустимом уровне 130G.
3. При испытаниях ударного воздействия на сигнальный дорожный столбик Delnorth СТИЛФЛЕКС при различном расположении столба использовалась болванка массой 5 кг. Болванка представляет собой некалиброванный аналог ударной части, соответствующей голове. Она использовалась в тех ситуациях, когда существовал риск повреждения калиброванной ударной части. По результатам этих испытаний ускорение ударной части оставалось примерно одинаковым при углах схождения от 0° (лобовой удар) и 90°, но значительно уменьшалось при угле схождения примерно 60°. При столкновении с обратной стороной столба отмечалась аналогичная картина. Снижение пикового ускорения при столкновении под углом 60° обусловлено кручением столба и отклонением с траектории движения ударной части. При столкновении под углом 90° столб становится существенно жестче, в результате чего пиковое ускорение при столкновении возрастает до 50G, что по-прежнему меньше предельно допустимого уровня 180G.
4. Для прогнозирования параметров столкновения на высоких скоростях использовалось моделирование методом конечных элементов. По результатам такого моделирования, пиковое ускорение при столкновении на скорости 100 км/ч составит 150G, что также ниже предельно допустимого уровня 180G.

Таким образом, вероятность получения серьезной травмы незащищенным участником дорожного движения при столкновении с сигнальными дорожными столбиками СТИЛФЛЕКС на скоростях до 100 км/ч представляется низкой. Подобный результат объясняется несколькими факторами. В частности - низкой массой, гибкостью, способностью дорожного столбика СТИЛФЛЕКС к одновременному кручению и изгибу при деформации. Все перечисленное позволяет столбику эффективно деформироваться при столкновении и уходить с траектории движения ударной части.

При боковом столкновении (90°) риск травмы минимален благодаря тому, что столбик обладает крайне низкой толщиной. Тем не менее, согласно сведениям, полученных другими исследователями, (см. раздел 1.2 данного отчета) в большинстве случаев столкновение незащищенных участников дорожного движения с дорожными объектами происходит под небольшим углом. Более того, по результатам практических испытаний столкновения с сигнальным дорожным столбиком СТИЛФЛЕКС под углом 90° обнаружилась тенденция к смещению нижней части столбика в грунт и уходу основной части столбика с траектории движения ударной части.

При испытаниях сигнальных дорожных столбиков из твердой древесины использовалась калиброванная ударная часть, соответствующая голове. Согласно полученным результатам, столкновение со столбом из древесины представляет угрозу уже при скорости 13 км/ч. При столкновении на скоростях выше 13 км/ч, ускорение превышает предельно допустимый IARV показатель 180G. Отрицательное ускорение ударной части (голова) при столкновении на скорости 21 км/ч составило 364G. Аналогичный показатель для ударной части, соответствующей грудной клетке, составил 79G, что также превышает предельно допустимый IARV показатель 60G.

5. ВЫВОДЫ

Согласно полученным результатам, вероятность получения серьезной травмы незащищенным участником дорожного движения при столкновении с сигнальными дорожными столбиками СТИЛФЛЕКС на скоростях до 100 км/ч представляется низкой. Подобный результат объясняется несколькими факторами. В частности - низкой массой, гибкостью, способностью гибкого столбика к одновременному кручению и изгибу при деформации. Все перечисленное позволяет столбику эффективно деформироваться при столкновении.

При испытаниях сигнальных дорожных столбов из твердой древесины использовалась модель человеческой головы. Согласно полученным результатам, столкновение со столбом из древесины представляет угрозу уже при скорости 13 км/ч. При столкновении на скоростях выше 13 км/ч, ускорение модели головы превышает предельно допустимый IARV показатель 180G. При испытаниях с моделью человеческого торса ускорение составляет 79G, что также превышает предельно допустимый IARV показатель 60G.

Согласно результатам настоящего исследования, сигнальные дорожные столбики СТИЛФЛЕКС значительно менее травмоопасны для незащищенных участников дорожного движения, чем стандартные столбы из твердой древесины.

6. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Duncan, C, Corban, B, Truedsson, N & Tingvall, C (2000), 'Motorcycle and Safety Barrier Crash-Testing: Feasibility Study', ATSB Report No. CR 201, December 2000, Australian Transport Safety Bureau, Canberra.
- FEMA (2000), 'Final Report of the Motorcyclists and Crash Barriers Project'. Available online at: <http://www.nmcu.org/publ/index.html>.
- FORS: Federal Office of Road Safety Serious Injury Database: 1992 Tabulations. AGPS, Canberra, 1995.
- Hurt, H, Ouellet, and Thom, D: Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures. Volume 1: Technical Report. Prepared for the US DOT, Washington DC, 1981.
- Lissner, HR, Lebow, M, & Evans, FG (1960), 'Experimental studies on the relation between acceleration and intracranial pressure changes in man', Surgery, Gynaecology, and Obstetrics vol. 111, pp. 352-369.
- Mertz, HJ (1984), 'Injury assessment values used to evaluate Hybrid III response measurements', Comment to NHTSA concerning FMBSS 208, Occupant Crash Protection. Attachment 1, Enclosure 2, Part III, General Motors Submission USG 2284; Docket 74-14- N32-1666B, March 24, 1984. Washington, DC: US Department of Transportation.
- Mertz, HJ (2002), 'Anthropomorphic test devices', In Accidental Injury: Biomechanics and Prevention, 2nd ed. Ed. AM Nahum & JW Melvin, pp. 72-88. Springer-Verlag, New York.
- Mertz, HJ, Irwin, AL & Prasad, P (2003), 'Biomechanical and Scaling Bases for Frontal and Side Impact Injury Assessment Reference Values', Stapp Car Crash Journal, Vol. 47, pp. 155-188.
- Oullet, JV (1982), 'Environmental hazards in motorcycle accidents', 26th Annual Conference of the American Association for Automotive Medicine, October 4-6, Ottawa. Proceedings, pp. 117-129.

Quincy, R, Vulin, D, & Mounier, B (1988), 'Motorcycle impacts with guardrails', Transportation Research Circular, No. 341, pp. 23-35.

SAE (1980), 'Human tolerance to impact conditions as related to motor vehicle design', SAE Information Report no. SAE J885 APR80, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.

Приложение I: Калибровка ударной части (голова)

Во время калибровочного удара, выполненного 4 января 2006 г., ударная часть, соответствующая голове манекена, при падении с высоты 0,367 м развила ускорение $2324,6 \text{ м/с}^2$ (237,2G), что соответствует указанному производителем диапазону 225G - 275G.

Приложение II: О компании HIE

Компания Human Impact Engineering (HIE) предлагает услуги по выполнению инженерного анализа, проведению испытаний и проектированию. Компания основана в 1996 г. Томом Гибсоном (Tom Gibson). Основная сфера специализации – биомеханика травм человека при ударном воздействии включая, в числе прочего, следующие аспекты:

- Расследование и реконструкция событий ДТП и других аварий;
- Расследование причин травм человека;
- Проектирование и оценка оборудования для обеспечения безопасности, в том числе – автомобильного;
- Помощь при ведении судебных тяжб.

Наши специалисты обладают обширным опытом работы с системами автоматизированного проектирования. Мы предлагаем частным заказчикам, а также государственным агентствам и исследовательским учреждениям услуги по проектированию инженерных систем (в первую очередь – систем обеспечения безопасности), осуществлению механических испытаний, консультированию, проведению исследований, управлению проектами.

Наша компания выполняла работы для таких заказчиков, как Australian Defence Association (ADA), Australian Harness Racing Council (AHRC), Australian Racing Boards (ARB), Australian Transport Safety Bureau (ATSB), Autoliv, Crashlab, Министерство обороны (Канада), Министерства транспорта и региональных услуг (DOTARS), GM Holden, Исследовательский центр при университете Монаш (MUARC), Полицейское управление штатов Новый Южный Уэльс и Виктория, Управление дорог и транспортного сообщения (RTA) штата Новый Южный Уэльс, Исследовательский центр безопасности автомобильного транспорта при Университете Аделаиды (CASR), а также ряда университетов Австралии.

Мы способны выполнить все этапы проектирования, поскольку приоритетное направление деятельности нашей компании – комплексное инженерное обеспечение, основанное на полном понимании потребностей наших клиентов. Мы можем работать как с цельными проектами, так и с отдельными их сегментами.

Инженерный анализ Наша компания может выполнить любые исследования, необходимые для выполнения поставленной заказчиком задачи, в том числе – используя компьютерное моделирование методом конечных элементов и моделирование многих тел. Наши знания и умения пригодятся при разработке устройств, анализе данных, проведении полевых испытаний и ведении судебных тяжб.

Испытания Наша компания может разработать методику и выполнить испытания для валидации математических моделей, разработки стандартов, а также для оценки эффективности защитного и другого оборудования.

Проектирование Современные методики компьютерного моделирования и проектирования позволяют использоваться специалистами компании для разработки сложных инженерных систем, включая моторизованный транспорт, и защитного оборудования, включая системы для обеспечения производственной безопасности и средства индивидуальной защиты. Наши специалисты владеют актуальной информацией о методологии и технологии проектирования систем транспортных средств, включая шины, защитное оборудование, элементы подвески и рамы.

Специалисты компании обладают достаточными навыками для эффективной работы с моделями конечных элементов и моделями многих тел. Основная специализация компании - использование компьютерного моделирования для изучения причинно-следственных связей и биомеханики травм. В нашу компетенцию входят следующие области знаний:

Биомеханика травм при ударном воздействии

Разработка критериев оценки тяжести травм
Причинно-следственные связи травм
Движение человеческого тела
Средства индивидуальной защиты
Расследование ДТП и аварий

Сложная инженерия

Анализ методом конечных элементов
Трехмерное моделирование
Моделирование многих тел
Анализ усталости

Моторизованный транспорт

Рама
Системы обеспечения безопасности
Подвеска
Поведение систем
Шум и вибрации
Выброс веществ
Сертификация RTA и FIA
Испытание компонентов

Помощь при ведении судебных тяжб

Реконструкция событий ДТП и аварий
Динамика транспорта
Причинно-следственные связи травмы